

ОСОБЕННОСТИ ГЕНЕРАЦИИ И СВЕРХЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ В ЛАЗЕРАХ НА ОРГАНИЧЕСКИХ КРАСИТЕЛЯХ ПРИ ВОЗБУЖДЕНИИ МОЩНЫМ АЗОТНЫМ ЛАЗЕРОМ

Ж. БОР

Институт экспериментальной физики Университета им. А. Йожефа, г. Сегед

В работе экспериментально измерено неоднородное пространственное распределение возбужденных молекул по оси возбужденной области, вызванное пространственно неоднородным насыщением усиления при сверхлюминесценции. Исследовалось влияние интерференционных эффектов возникающих при отражении от параллельных плоскостей на спектр генераций. Наблюдалась резко выраженная система колец в дальней зоне излучения лазера.

В данной работе описаны результаты исследований четырех таких явлений, которые затрудняют перестройку длины волны излучения и ухудшают качество пучка лазера на красителе, возбужденный излучением азотного лазера. В наших экспериментах мы использовали самодельный азотный лазер [1] со следующими параметрами: энергия импульса 2 мдж, полуширина импульса 9 нсек, пиковая мощность 200 квт, частота повторения 0—50 гц, полная расходимость излучения $1,5 \times 11$ мрад.

1. Усиленное спонтанное излучение (УСИ)

УСИ в английской литературе называется «amplified spontaneous emission (ASE)». В советской литературе УСИ раньше называлась сверхлюминесценцией.

Самый детальный теоретический анализ явления УСИ, применительно к лазерам на красителях, принадлежит Ганиелу и др. [2], которые рассчитали временную и пространственную зависимость интенсивности УСИ и заселенность первого возбужденного синглетного состояния $N_1(x)/N$ с учетом спектральной зависимости усиления. Зависимость $N_1(x)/N$ экспериментально не проверялась.

С целью определения пространственной зависимости относительной заселенности возбужденного состояния $N_1(x)/N$, центральную-однородную часть пучка азотного лазера мы фокусировали с помощью цилиндрической линзы на внутреннюю стенку кюветы так, чтобы ось возбужденной области не была перпендикулярна к торцам кюветы. Интенсивность накачки варьировалась с помощью стеклянных фильтров. Возбужденная область фотографировалась из направления накачки. Спонтанное излучение регистрированное фотоаппаратом мы считали пропорциональным заселенности возбужденных состояний. После соответствующей градуировки пленки мы могли определять заселенность

$N_1(x)/N$, как функцию положения по оси возбужденной области (рис. 1.). Так, как этот метод позволяет определять заселенность только в относительных единицах, поэтому согласно расчётам [2], при построении графиков мы считали, что значения $N_1(x=0)/N$ одинаковы при различных интенсивностях накачки.

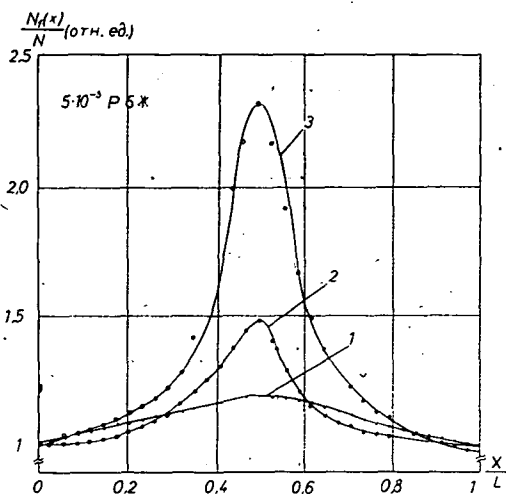


Рис. 1. Зависимость относительной заселенности возбужденных молекул по оси возбужденной области при разных плотностях накачки (длина возбужденной области

$L = 1$ см; $5 \cdot 10^{-3}$ моль/л родамин 6Ж в этаноле)
 1 — $1,14 \cdot 10^6$ Вт/см², 2 — $1,7 \cdot 10^6$ Вт/см²,
 3 — $3,5 \cdot 10^6$ Вт/см²

учесть реальную геометрию возбужденной области, ослабление накачки по глубине активной среды и самопоглощение УСИ.

II. Интерференционный эффект, возникающий при отражении от параллельных плоскостей

При плавной нерестройке спектра излучения лазера или при генерации в широкополосном резонаторе, спектральная плотность излучения лазера оказывается периодически промодулированным, что является весьма нежелательным при внутрирезонаторной спектроскопии.

Интерференционный эффект мы исследовали при генерации на торцах кварцевой кюветы при поперечном варианте накачки. Типичный спектр генерации, полученный по такой схеме приведен на рис. 2. Расстояние измеренные между отдельными линиями хорошо описываются выражением $\Delta\lambda = \lambda^2 L^{-1}$ если $L = 1,83$ мм (рис. 3). Согласно нашим измерениям, оптическая толщина стенки кюветы в видимой части спектра с учётом дисперсии показателя преломления, изменяется в пределах 1,85—1,82 мм. Значит периодическая структура излу-

Экспериментальные результаты качественно подтверждают теоретические результаты [2], согласно которым при увеличении интенсивности накачки в середине возбужденной области заселенность возбужденных состояний из-за пространственно-неоднородного насыщения усиления существенно больше, чем на краях.

Подобные результаты получили и для растворов красителей родамин В и 7-диэтил-амино-4 метилкумарина. Проводили эксперименты, при которых сбоку кюветы перпендикулярно к УСИ поместили зеркала с различными коэффициентами отражения. Установили, что при увеличении коэффициента отражения зеркал максимум распределения $N_1(x)/N$ смещается к зеркалу.

Для получения количественного согласия теоретических и экспериментальных результатов в теории Ганиеля необходимо

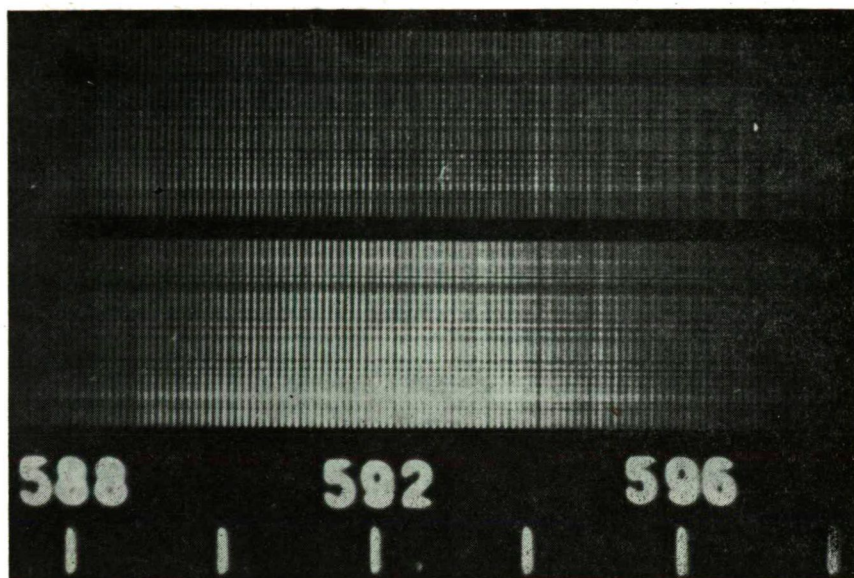


Рис. 2. Типичный спектр генерации на торцах кюветы ($5 \cdot 10^{-3}$ моль/л родамин 6Ж в этаноле)

чения лазера на красителе связано с тем, что стенка кюветы ведёт себя как интерферометр Фабри—Перо, то есть частотно-селективный фильтр.

Интересно то, что коэффициенты Френеловского отражения на поверхностях стенки кюветы 3,5% и 0,125% (для этанольного раствора) вызывают столь глубокую модуляцию спектральной интенсивности излучения лазера.

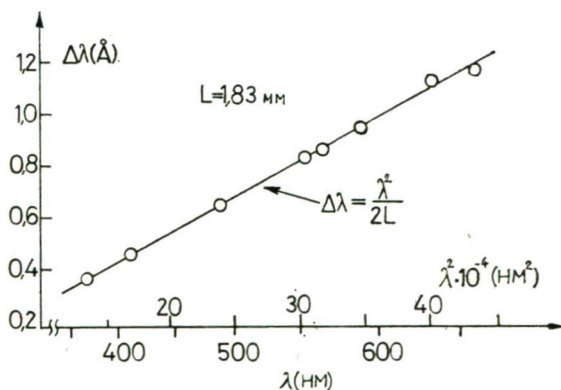


Рис. 3. Зависимость расстояния между линиями в спектре генерации на торцах кюветы от длины волны генерации

Для того, чтобы избавиться от линейчатой структуры спектра проводили специальные эксперименты, при которых с помощью выбора подходящего растворителя коэффициент преломления раствора и кварца приблизили друг к другу с точностью более чем $5 \cdot 10^{-3}$. Однако попытки были полностью неуспешны, линейчатая структура не исчезла. Поэтому при проектировании оптических элементов резонатора необходимо использовать клиновые подложки и пластинки или просветляющие покрытия.

III. Оптическое искажение активной среды

Сильное оптическое искажение активной среды связанное с неполным рассеянием тепла выделяющейся в активной среде, наблюдается при частотах повторения импульсов 10 Гц и выше [3]. В режиме одиночных импульсов также можно наблюдать оптическое искажение и оно проявляется двояко: излучение лазера на красителе отклоняется от оптической оси резонатора [4], и в ближней зоне излучения лазера, около фокальной линии цилиндрической линзы там, где интенсивность накачки наиболее высокая образуется темная менее интенсивно генерирующая область. При перемещении линзы к кювете темная область также перемещается. Образование темной области в ближней зоне по всей вероятности вызвано изменением показателя преломления раствора при изохорическом нагреве возбужденной области и различной поляризуемостью молекул красителя в S_0 и S_1 синглетных состояниях.

IV. Кольцевые картины в дальней зоне излучения

В дальней зоне излучения лазера на красителе часто наблюдаются кольца похожие на кольца интерферометра Фабри—Перо (рис. 4). Они образуются особенно хорошо тогда, когда концентрация красителя высока — коэффициент поглощения красителя на длине волны накачки порядка 100 см^{-1} или больше — и если фокальная линия цилиндрической линзы находится на внутренней поверхности стенки кюветы. В этом случае из-за больших диффракционных потерь и из-за возможной самофокусировки [5] расходимость излучения лазера большая и число наблюдаемых колец может превышать 50.

Кольцевые картины образуются вследствие того, что резонатор лазера ведёт себя как интерферометр Фабри—Перо анализирующий излучение, выходящее из кюветы. Можно показать, что угол φ_N , под которым излучение N -ого кольца выходит из резонатора определяется выражением $\varphi_N = \lambda^{\frac{1}{2}} L^{-\frac{1}{2}} N^{\frac{1}{2}}$, где L — базисная длина резонатора, λ — длина волны излучения, N — порядковый номер кольца. Рис. 5 показывает хорошее совпадение экспериментальных результатов и приведённой формулы.

От кольцевых картин можно избавиться таким образом, что с помощью соответствующего расположения цилиндрической линзы высоту и глубину возбужденной области нужно сделать примерно равным и по возможности использовать раствор красителя с малой концентрацией.

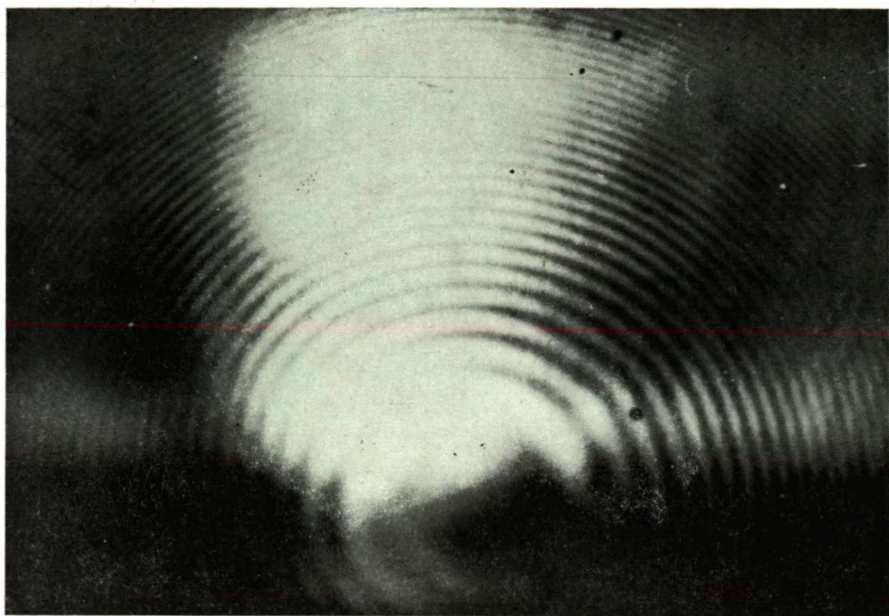


Рис. 4. Дальняя зона излучения лазера на красителе при сильной фокусировке накачки ($1 \cdot 10^{-2}$ моль/л родамин 6Ж в этаноле)

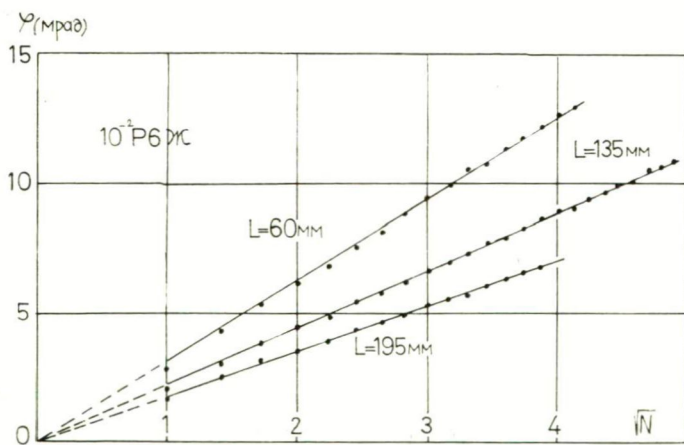


Рис. 5. Зависимость угла выхода излучения из лазера от порядкового номера кольца

Литература

- [1] Кечкемети, И., Б. Рац, Ж. Бор, Л. Козма: Acta Phys. et Chem. Szeged 20, 191 (1974).
- [2] Ganiel, U., A. Hardy, G. Neumann, D. Treves: IEEE Quantum Electron, QE—11, 881 (1975).
- [3] Абакумов, Г. А., М. А. Касымджанов, В. П. Протасов, А. П. Симонов, В. В. Фадеев, Р. В. Хохлов: ЖПС 15, 415 (1971).
- [4] Loiko, M. M., Zs. Bor, L. Kozma, B. Rácz, I. Ketskemeti: Optics Commun.: 15, 173 (1975).
- [5] Белоконь, М. В.: Материалы Всесоюзной конференции: «Лазеры на основе спонжных органических соединений», Минск, 1975. стр. 54.

PECULIARITY OF LASING AND AMPLIFIED SPONTANEOUS EMISSION
OF ORGANIC DYES EXCITED BY HIGH-POWER NITROGEN LASER

Zs. Bor

The present paper reports on a direct measurement of spatially inhomogeneous dependence of the excited molecules along the axis of excited region, caused by inhomogeneous saturation of the gain in the presence of amplified spontaneous emission. The influence of etalon effects in parallel surfaces on the lasing spectra was studied. A sharp ring pattern was observed in the far field of laser radiation.